

地震力的工程分析法

〔苏联〕A. Γ. 納扎罗夫 著

王光远 陈淦荣 合译

刘恢先 陈懋恭 校

中国工业出版社

地震力的工程分析法

〔苏联〕A. I. 納扎罗夫 著

王光远 陈淦荣 合译

刘恢先 陈懋恭 校



中国工业出版社

А. Г. Назаров
МЕТОД ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ СИЛ
Издание второе, исправленное и дополненное
Издательство ан армянской ССР
Ереван 1959

* * *
地震力的工程分析法

王光远 陈淦荣 合译

刘恢先 陈懋恭 校

*
建筑工程部图书编辑部編輯(北京西郊百万庄)
中国工业出版社出版(北京东单图书馆路10號)
北京市書刊出版業營業許可証出字第110號
五三五工厂印刷

新华书店北京发行所发行 • 各地新华书店經售

*
开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ • 印張 7 • 字数 176,000
1965 年 6 月北京第一版 • 1965 年 6 月北京第一次印刷
印数 0001—1,940 • 定价(科六) 1.10 元

*
統一書号: 15165 • 3847(建工-457)

本书介绍了直接用仪器测定地震力的方法。

此法主要是用特制的、模拟地震时结构反应的多摆地震计来直接积分地表运动方程式。为了大量记录强烈的破坏性地震，可应用最大多摆地震计只记录各摆的最大相对位移。这种地震计由一组装有阻尼器的线性振子组成，这些振子具有不同的自振周期，并能记录下各自最大的相对位移。

根据这些资料可建立折算地震加速度谱曲线，以便用来广泛地估计地震烈度，进行地震区域划分及地震小区域划分，也可以用来计算结构物的抗震性。为了有可能使用仪器客观地研究地震，特别是破坏性地震，书中建议组织工程测震站网，在各站内安设多摆地震计、加速度仪及其它仪器。

本书可供从事工程地震学及抗震结构工作的科研工作者、研究生及工程师作参考。

目 录

緒 論	1
第一章 在地震时結構物的基础与地基之間的相互作用	8
§ 1. 傳給結構基础的地震影响	8
§ 2. 关于考虑地震时地基柔性的問題	16
§ 3. 地震时固定在柔性地基上的剛性块体的振动方程式	25
第二章 振动时結構物能量的散失	32
§ 4. 关于內摩擦的現有的各种假設之簡短总结	32
§ 5. E. C. 索罗金假設	34
§ 6. 佛赫特假設与索罗金假設的比較	45
§ 7. 結構振动时能量的散失	56
第三章 抗震理論方程式与其积分的方法	64
§ 8. 抗震理論发展的簡單总结	64
§ 9. 抗震理論方程式	68
§ 10. 地震的碰撞与冲击及其在結構上的作用	79
§ 11. 作用于单自由度体系結構上的地震力	92
§ 12. 利用加速度記錄图确定 $\tau(T, \alpha)$	96
§ 13. 利用地震記錄图确定 $\tau(T, \alpha)$	100
§ 14. 直接用仪器积分抗震理論方程式的方法	105
§ 15. $\tau(T, \alpha)$ 譜的直接确定法及其物理意义	107
§ 16. $\tau(T, \alpha)$ 譜曲綫的某些特性	114
§ 17. 計算譜曲綫 $\tau(T, \alpha)$	121
§ 18. 单自由度結構計算的簡單介紹	123
§ 19. 多自由度結構的抗震計算	124
§ 20. 在抗震結構計算中考虑高振型的簡化計算法	128
第四章 地震力的計算例題	134
§ 21. 下端剛性嵌固于地基而上端为自由端的 等截面杆的弯曲振动	134
§ 22. 仅承受剪切变形的杆之振动	143
§ 23. 作用于四层鋼筋混凝土框架上的地震力的計算	150

§ 24. 作用于烟囱的地震力的計算	156
第五章 多摆地震計	164
§ 25. АИС-1 型地震計.....	164
§ 26. АИС-2 型地震計.....	171
第六章 应用多摆地震計的試驗	184
§ 27. 应用多摆地震計估計爆破地震波强度的試驗	184
§ 28. 借助于多摆地震計估計地震烈度的研究結果	191
第七章 論組織工程地震站的必要性	202
§ 29. 借助于多摆地震計可以解决的工程地震学問題	202
§ 30. 工程地震站的任务	204
§ 31. 关于工程地震觀測站的組織之建議	209
参考文献	213

緒 論

关于結構抗震性的知識的主要来源有三：地震对結構的影响的現場調查、理論研究以及实验研究。目前大部分的知識正是由現場調查結果获得的；因此，关于抗震的科学基本上还是描述性的科学。仅仅利用这些描述性的資料来建立关于地震力对結構影响的性质的严整概念是十分困难的。

地震力是我們所能想像到的最为复杂的动力荷載之一。工程結構，特別是房屋，乃承受地震荷載的非常复杂的力学体系。此外，即使在比較良好的情况下进行調查研究时，我們也只能对建造这些結構所使用的材料的物理力学常数給以十分粗淺的估計。显然，仅在这些認識的基础上，我們无法給出关于地震力的明确的定性的分析，更不能得到令人信服的定量方面的关系。在現有的研究方法中，最大的缺点就是几乎完全沒有对破坏性的地震及地震余害进行工程地震学的观察記錄。因此，調查的資料基本上只具有定性的性质。由于下述原因而使此一情况更为困难：即表明破坏性地震的烈度，亦即表明地震力的地震烈度表基本上是按房屋破坏的程度而划分的^①。所以現有調查地震余害的方法中，日益明显地出現了一个矛盾。这个矛盾就是：研究者们对地震区的建筑物給予了两个互相矛盾的任务。一方面，建筑物应该成为按地震烈度表决定地震力的仪器（不錯，是十分粗糙和不精确的仪器，但总还是仪器）；而同时建筑物应该成为研究的对象，因为需要研究在同一地震作用下这些建筑物的反应。简单說来，在目前情况下建筑物同时是工具又是研究的对象。严格說来，以建筑物破坏特征表示的地震烈度并不能决定地震烈度的强度，它只不过是按烈度給出建筑物破坏程度估計的标准。

① 关于現有地震烈度表种类的总結可参考 В. А. 貝浩夫斯基 (Быховский)⁽¹⁾ 的著作。

同样明显，对工程师来说，必须知道的不仅是破坏的特征，而特别重要的是要知道地震强度。它不是根据房屋破坏情况的分析结果来决定的，而是在客观的仪器记录的基础上决定的，这些仪器是为了用以分析房屋破坏而专门制成和安装起来的。因为，在地震强度和房屋破坏程度之间并无正比例的关系。尤其是当建筑物的质量愈来愈好时，为了破坏它们所需要的地震力就需要愈来愈大。在此情况下，相应地震烈度就会愈来愈给地震力以过低的估计。除此之外，各国的建筑具有不同的结构和不同的质量，因此根据现有地震烈度表来估计相同的地震力时会得出不同的量的指数。

从工程观点来研究如何用仪表法决定地震力的问题，对于为地震余害现场研究的方法奠定严格的基础来说，具有决定性的意义。关于建造简单的仪器来记录强烈地震的问题在很早就发生了。历史上这些仪器比现代地震仪表的出现要早得很多。早在 132 年中国学者张衡^①便创造了第一个地震仪。继而便是在意大利与新西兰(Вернон А. Мэрфи)⁽¹⁾应用过的一些地震仪。

从苏联所创制的简化的地震仪器中，我们将研究 Г. Я. 阿儒丘诺夫(Арутюнов)和 А. К. 尚希耶夫(Шаншиев)所设计的地震仪，它们是在 К. С. 札夫里耶夫(Завриев)⁽²⁾的指导下被设计成功的。这种仪器有一个金属柱状的惯性质体，借助于两个弹性“铰”将金属柱悬挂于基座上，弹性铰是一对十字交叉的钢制簧片。这一对簧片的交叉点位于惯性质体的旋转轴上。在与摆的旋转轴相垂直的方向上，地表的水平振动分量使摆作弹性旋转振动。在摆上安装有指针，其端点有针尖，针尖在熏有煤烟的纸上将摆的振动记录下来。此种地震仪的自振周期为 0.3 秒。

另一种是 С. В. 麦德维捷夫(Медведев)所创的记录强烈地震用的地震计，此种仪器有一个球面摆，其自振周期为 0.25 秒；并且有磁性阻尼器，其对数衰减率为 0.5。球面摆为一金属杆，其

① 例如，参阅 Е. Ф. 薩瓦連斯基(Саваренский)与 Д. П. 基尔諾斯(Кириос)的著作⁽¹⁾。

下端連接一个质量甚大的重物，其上端固接于仪器的基座。因重物慣性力之作用杆子产生彈性变形从而引起摆的振动。在摆的下端固定着一个針尖，針尖在熏有一层煤烟的固定在基座上的球形薄板面上划下痕迹。根据煤烟上的記錄我們可以求出摆的最大的相对偏移。

这种只有一个用于記錄最大相对偏移的彈性摆的仪器不能对地震力的强度提供等值的估計。这些仪器是一些具有单自由度的力学体系；当地表振动分量的周期和这些仪器的自振周期相近时，这些仪器的反应就特別强烈。

自然就发生了下述問題，是否能利用譜曲綫（就是綫性振子的最大振幅与其自振周期的关系曲綫）来估計地震强度。如所周知，在光学的各种問題中譜曲綫的应用收到了多么大的效果。

用譜曲綫估計地震力强度的第一个嘗試者是比奧(Biot)^(1,2,3)。为此目的应用加速度記錄仪将地表的地震加速度記錄下来(加速度記錄图)。按照所得加速度图来計算一系列綫性振子的最大偏移，这些振子就是悬于彈簧上的慣性质体(彈性摆)，它們具有不同的自振周期，并假定这些振子的基础按所研究的地表加速度的規律进行振动。这样，問題便归結为积分一系列二阶綫性微分方程式，它們是在所規定的干扰原因(在此情况下为地震加速度)的作用下，用綫性振子的振动描繪下来的。比奧是用特制的机械式积分仪进行积分的。如果現在沿横座标标明各綫性振子的自振周期，而沿纵座标标明它們的最大偏移，則即得出这些彈性摆的位移譜曲綫，此曲綫将表明此一地震的特征。

在所研究的問題中引用折算地震加速度是很方便的。折算地震加速度就是能使各个彈性摆产生最大偏移的一些常量加速度。折算地震加速度应用起来所以方便是因为它們与綫性振子的构造无关，它們表明該地震的特征，在固定的衰减率的情况下它們仅取决于各个振子的自振周期。如果現在沿横座标仍然标明各綫性振子(彈性摆)的自振周期，但沿纵座标标明折算地震加速度，就得出折算地震加速度图，或所謂折算加速度譜曲綫，此一曲綫将

表明該地震的特征。借助于此一曲綫可以分析真实結構处于彈性工作阶段时的应力状态。

因为我們所得到的的是地震加速度图，而且它又是由具有不規則形状的大量的波所組成，故而綫性振子的振动微分方程式的数值积分具有很大的困难。

И. Л. 考尔靖斯基(Корчинский)⁽³⁾所提供的积分法是很有趣的，此法的根据是近似地給出地震时地表振动的数学表达式。为此目的，他两次微分解析所給的地震图，并以所得地表加速度作为决定作用于結構的地震力的依据。他用这样的方法試图得出計算抗震結構的数据。此法的缺点在于对近似地給出的函数进行了两次微分，如所周知，这很可能得出很大的誤差。

在分析单自由度彈性体系的現象时，Б. К. 卡拉別强(Карапентян)⁽⁴⁾将地震时地表振动的加速度图的經過簡化了的数学表达式作为基础进行研究。

С. В. 麦德維捷夫⁽²⁾曾試图直接对加速度图(也就是地震图)进行数值积分来分析結構的反应。

М. Т. 烏拉帕耶夫(Уразбаев)⁽¹⁾，В. К. 卡布洛夫(Кабулов)⁽¹⁾与 В. Т. 拉斯卡索夫斯基(Рассказовский)⁽¹⁾，Э. Е. 哈齐燕⁽¹⁾正在研究在結構上引起地震冲击的、强度很大的地表短时加速度。

利用电模拟来解綫性振子的微分方程式使問題向前大大地跨进了一步。如所周知，这样便可得出电路的振动記錄图，按其特征來說，此电路相当于单自由度的彈性机械系統。用这样的方法 G. W. 豪士納尔(Housner)、R. R. 馬特爾(Martel)、I. L. 阿尔佛特(Alford)根据他們所据有的加速度图得出了具有各种衰减率的一系列譜曲綫。

为了估計地震力，我們和比奧一样(但是我們是独立研究的)也把折算地震加速度譜曲綫作为基础。但我們是用另一种方法得到这些曲綫的^{(5,7)①}。同时我們认为大量利用加速度記錄仪(为了得

① 此观点首先在我們的博士論文“建立抗地震理論的經驗”中正式发表 1945。

出地震加速度記錄),然后再求出折算地震加速度是不适当的,原因如下:

1. 地震場是非常不均匀的。同时地震力强度不仅取决于离开震源的距离,而且还受到土壤条件的影响。因此必須安置大量的仪器。大量安置需要經常照料的加速度記錄仪是不适宜的。

2. 在强烈地震的情况下,有时加速度記錄仪会失效;从工程的观点来看,这种强地震的記錄恰好是最为需要的。

3. 一般加速度記錄仪的自振周期达到0.1—0.2秒。因此,对应于地表振动高频分量的加速度以及加速度的突变,在加速度图上的記錄就有严重的誤差。

4. 在积分加速度图时由于記錄的不精确与积分运算本身的誤差的緣故,零綫可能滑动(Б. Б. 高利欽(Голицын)⁽¹⁾,盖尔斯貝尔盖尔(Гершберг)⁽²⁾)。

5. 为了节省劳动力和节省感光紙,常常在加速度記錄仪上安有起动继电器,它可以在地表开始振动时使附有感光紙的記錄筒旋轉起来。所以在加速度图上常常缺少地震刚开始时地表加速度的記錄,这便使我們所得到的折算加速度之值有了誤差。

今后必須为了工程地震学的目的而改进和使用加速度仪,但應該考虑到采用大量的加速度仪作为記錄强地震烈度之用是有困难的。

現在产生了这样一个問題,就是能否創制一种簡易的仪器直接測定折算地震加速度;这样就可以省去求加速度图和对它們进行分析的工作。从理論上說这种仪器是可以制造的。設想在同一个基座上悬挂一系列独立的彈性摆,它們有不同的自振周期;在地震时这些彈性摆将自己的最大相对偏移記錄下来。如果已知这些摆的特征,就不难对每一个自振周期求出其折算地震加速度和繪制譜曲綫。表面上看来这种仪器儼如振动分析器。例如,日本学者末广恭二为了測定地表自由振动的主要周期利用了多摆地震記錄仪为分析器,将各摆的振动随时記錄下来。

为了闡明譜的物理涵义,在文献中常指明了上述可能性,然

而据我們所知在實踐中还没有应用过。

我們給自己提出了創制大量的最簡單的多摆地震計的任务，它不需要專門人員經常地照料，并且可以从工程的角度确定地震强度。因此我們取消了仪器的带有計时裝置的記錄轉筒，只限于記錄摆相对于地球的最大偏移，这样就足以获得譜曲綫了。根据我們的意图，多摆地震計要模拟地震时結構的振动^①，因此在仪器中也应考虑結構振动中所发生的能量散失。

如所周知，目前在地震仪器中习惯采用阻力与速度一次方成正比的阻尼器(液体阻尼或磁阻尼)。我們建議用橡皮(塑料)的彈性滯变作为地震計的阻尼，这样可以大大地简化仪器的結構。

在本书中特別着重研究折算地震加速度譜的性质和它在估計結構应力状态以及解决一系列工程地震学問題时的簡便方法。我們认为这里得到的一些結論是值得重視的。

所介紹的仪器首先在記錄埃里温、斯大林納巴德和梯比里斯的地震和强爆破地震中得到了良好的鉴定，这就使我們有可能提出本书，系統地闡述我們对于上述各問題的观点。

本书各章的內容如下：

在第一章中討論了地震干扰从土壤傳遞給結構基础的力学問題。确定了地震干扰可以分为两部分：一部分与地震波在土壤中傳播速度有关，导致波的繞射和反射現象；另一部分与結構基础下土壤的柔性有关。后一部分的干扰很容易用解析說明。

在第二章中研究了彈性振动时能量散失的問題，詳細分析和比較了佛赫特和索罗金的两种假設，也談到了建立考慮这些假設的振动微分方程式的規則。

第一、二章的材料对于正确地解釋多摆地震計所求得的结果，以及如何設計这些仪器的阻尼裝置是必不可少的。

第三章是本书的中心部分，闡明了分析估計地震对結構影响的問題。其中研究了获得折算地震加速度譜的方法，給出了它們

① 最近美国倾向于在地震区中大量安設不同周期的錢性振子以記錄强地震(Клауд 和 Кардер)⁽¹⁾。

的临界值，并且介绍了应用谱曲线进行结构的计算方法。同时也指出了谱曲线并不包含对于多自由度体系而言的地震对结构影响问题的全部资料；很明显，从这个观点来看，加速度图是最完整的资料。

在第四章中根据上一章所得的结果举了一些计算地震对结构影响的例题。

第五章讨论了直接记录折算地震加速度谱的多摆地震计的构造、计算和校准的问题。

第六章简要地介绍了应用多摆地震计记录埃里温、斯大林纳巴德和梯比里斯的地震和爆破地震波的经验。

第七章是关于组织工程地震观测站和工程地震学与地震学的研究课题之间的协调问题。

在初次阅读本书时可以把 § 2、4、6 三节略去。

撰写本书时考虑和采纳了 К. С. 扎夫里耶夫、Я. Г. 帕诺夫柯 (Пановко)、С. А. 阿姆巴尔楚绵 (Амбарцумян) 和王光远 (中国, 哈尔滨) 等提出的许多宝贵意见, 此外 Б. К. 卡拉别强、Э. Е. 哈齐燕 (Хачиян)、Л. В. 沙赫苏瓦梁 (Шахсуварян)、С. С. 达尔宾昂 (Дарбинян) 和 И. В. 匹许玛疆 (Пештмалджян) 等在完成此书过程中给予的帮助, 谨利用此机会向上述诸同志致以深刻的谢意!

第一章 在地震时结构物的基础与地基之间的相互作用

§1. 傳給結構基础的地震影响

假想从地的表面切出一块单元面。此面有六个自由度，就是沿三个互相垂直的方向作綫位移和繞三个互相垂直的軸作旋轉运动。所以，理論上，在地震时单元面可以作移动振动及旋轉振动（对三个互相垂直的軸）。根据現有的地震学的資料，这些面并无旋轉振动，或者即使有的話也是极为微弱^①（Б. Б. 高利欽(Голіцин)）。因而，可以认为：在地震时地面的每个单元面只进行移动振动；此种振动可以分解为一个豎向振动分量和二个互相垂直的水平振动分量。

在地震时这三个地表振动的分量由三个地震仪記錄下来，其中两个是彼此互相垂直地安放的水平地震仪，另一个是垂直地震仪。位移的性质将决定于单元面与震源的相对位置。我們假設单元面位于震中，也就是正好在震源的上面（震中可以近似地看作一个点）。同时，为簡化起见，认为是一理想的情况，即地表面是水平的，岩石的密度和彈性性质只沿垂直于地表面的方向有改变。地震时在震源同时产生纵向振动及横向振动。由于纵向振动傳播的速度較快，所以它先到达地的表面。因为纵向振动时介质的质点沿地震傳播的輻射綫进行振动，所以单元面将在豎直方向振动。稍迟，横向振动亦傳至地面。在横向振动中介质的质点与地震輻射方向垂直地进行振动，因而当横向振动达到地面时，单元面开始在水平方向振动。如果单元面不在震中，則土壤的纵向振动及横向振动都能单独地引起单元面同时在豎直方向及水平方向的振

① 希望能有直接测定地表旋轉振动的仪器。在地面上有一块体，由于地基柔性的关系，当然可能有局部的移动，同时伴随着旋轉振动。

动。显然，离震中愈远，由纵向振动所引起的地面的水平振动分量就愈大而竖向分量就愈小；而横向振动则相反——水平振动分量就愈小而竖向分量就愈大。离震中愈远，地表水平振动的分量之和大大地超过竖向振动的分量。錯綜的地形，地层的不均匀性都将为此規律带来显著的偏差。

我們来研究一下单元面上的两个点，一般說来，地震扰动的到达時間是不同的，所以在两个不同点上的振动之間存在着相位差，这就造成它們的位移不一致。地震波越长和单元面尺寸愈小，則各点位移的相位差就愈小。在这种情况下可以近似地认为面上所有的各点作相同的移动(同步振动)。

在一切現有的抗震理論中都假定結構地基的各点都作同样的位移。好像結構建立在一個不变形的剛性盘体上，盘体在水平方向及豎直方向作平行的移动。更确切地說，这种假想的盘体就是土壤层，結構物座落在此土壤层上。因此，地震时結構的地基可能产生剪切变形及轉动。

关于地震时結構地基上所有各点位移相同的假定是使問題簡化的重要假設之一，所以应得到专门的研究。像上面指出过的，地震波越长，在計算地震力对結構的影响时，此一假設所带来的誤差就愈小。

如果自振周期为一定值，則地震波长与地震的傳播速度成正比。因此，在建立抗震理論时采用上述假設就等于假定地震波的傳播速度为无限大，也就是說假定它是瞬間傳播。

在估計結構的抗震性时如果試圖考虑地震波的傳播速度，就要发生分析方面的巨大困难。結構对正在傳播的地震波的場带来干扰[A. Γ. 納扎罗夫⁽³⁾]。这种干扰由两部分組成。一部分干扰是由于地基的柔性，因此振动着的結構本身也引起土壤的振动。在作某些簡化的假定以后，这一部分干扰比較容易分析。在初步近似的处理中可以认为：这部分干扰与地震波在土壤中的傳播速度关系很小。在以后我們將要詳細地討論地基的柔性。另一部分干扰十分复杂，它与地震波的傳播速度有直接的关系，很难用解

析的方法进行考虑。

可以对由于地震波的傳播速度而在結構基础中产生的那部分应力作十分粗略的估計。在地震波(纵波或横波)沿条形基础的軸在水平方向傳播时将出現最大的影响。

例如,諧振型的纵向地震波沿 x 軸(与条形基础平行)傳播的速度为 c 。这时由座标值 x 所决定的地面上的每一个点的位移 $y_0(t, x)$ 的表达式为:

$$y_0 = A \sin \frac{2\pi}{L}(x - ct), \quad (1-1)$$

式中 A ——振动的振幅;

L ——地震波长。

每一个定点 $x = x_1$ 的振动周期 T 等于:

$$T = \frac{L}{c}. \quad (1-2)$$

沿 x 軸分布的单元纖維的单位伸长为:

$$\varepsilon = \frac{\partial y_0}{\partial x} = A \frac{2\pi}{L} \cos \frac{2\pi}{L}(x - ct), \quad (1-3)$$

最大的单位伸长 ε_0 将为:

$$\varepsilon_0 = A \frac{2\pi}{L}. \quad (1-4)$$

将土壤移动的振幅用最大地震加速度表示出来较为方便,因为按現有习惯是用地震加速度来表明地震烈度。将式(1-1)对 t 取二阶导数,即可得出任一点 x 的地震加速度:

$$y_0'' = -A \left(\frac{2\pi c}{L} \right)^2 \sin \frac{2\pi}{L}(x - ct), \quad (1-5)$$

由此得出最大地震加速度 τ_0 等于:

$$\tau_0 = |y_0''|_{\max} = A \left(\frac{2\pi c}{L} \right)^2 = A \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2, \quad (1-6)$$

所以可将式(1-4)改写为:

$$\varepsilon_0 = \frac{\tau_0 T}{2\pi c}. \quad (1-7)$$

为了近似地估計房屋的基础(設为沿 x 軸的条形基础)中的軸

向最大应力之值，應該从某些簡化假設出发。

假定基础所承受的軸向变形与周圍土壤的变形完全相同(此假設是偏于安全的)。当然，事实上不会出现这种現象，特别是在軟土时。此外，当軸向变形沿基础的軸改变得很厉害时，特別在軟土中不可避免地要出現基础与土之間的滑移。綜合这些原因应得出下述結論：如果基础中的軸向变形大为减小，那么在基础中产生的軸向应力之值亦隨而大为减小。

当假定基础与地基的軸向变形相同时，在基础中的最大軸向应力按下式决定：

$$\sigma = E \varepsilon_0 = \frac{\tau_0 T E}{2\pi c} \quad (1-8)$$

这样，当最大地震加速度 τ_0 为定值时，基础中的軸向应力与其彈性模量以及振动周期成正比，而与纵波的傳播速度成反比。

下面在表 1 中給出了当最大地震加速度 $\tau_0 = 1 \text{ 米/秒}^2$ 时毛石混凝土基础中的应力 σ 之值。毛石混凝土的 E 采用为 30000 公斤/厘米^2 。

表 1

$T(\text{秒}) \backslash C(\text{米/秒})$	300	500	1000	2000	3000
0.1	1.5	1.0	0.5	0.25	0.15
0.2	3.0	2.0	1.0	0.50	0.30
0.4	6.0	4.0	2.0	1.00	0.60
0.8	12.0	8.0	4.0	2.00	1.20

由上表可以看出：土壤越軟基础中的軸向应力就愈大，对松的回填土而言(对它們可认为地震波的傳播速度 $c = 300 \text{ 米/秒}$)达到最大的数值。对岩石性的土壤如石灰岩及砂岩(它們差不多相应于 $c = 3000 \text{ 米/秒}$)，基础中的应力将小 10 倍。混凝土基础的彈性模量差不多为毛石混凝土的 5 倍，軸向应力也增加同样的倍数。由表 1 中看出，較大的应力正好在这样一些情况中发生，就是基础和地基間无相对移动的假設变得特別不正确，而應該大大降低